

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JAQUELINE HOMOBONO NOBRE

**EVOLUÇÃO DE FOCOS DE INCÊNDIOS E CORRELAÇÕES COM PROJEÇÕES
DE CENÁRIOS DE VULNERABILIDADE CLIMÁTICA NO ESTADO DO AMAPÁ
(2000-2017)**

CURITIBA

2018

JAQUELINE HOMOBONO NOBRE

**EVOLUÇÃO DE FOCOS DE INCÊNDIOS E CORRELAÇÕES COM PROJEÇÕES
DE CENÁRIOS DE VULNERABILIDADE CLIMÁTICA NO ESTADO DO AMAPÁ
(2000-2017)**

Artigo apresentado como requisito de conclusão do Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Coorientador: Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

CURITIBA

2018

EVOLUÇÃO DE FOCOS DE INCÊNDIOS E CORRELAÇÕES COM PROJEÇÕES DE CENÁRIOS DE VULNERABILIDADE CLIMÁTICA NO ESTADO DO AMAPÁ (2000-2017)

Jaqueline Homobono Nobre

RESUMO

O objetivo desta investigação é a avaliar a evolução do número de focos de incêndios florestais no Estado do Amapá e correlacioná-los com séries de dados meteorológicos (precipitação anual, temperatura máxima, temperatura média geral e temperatura mínima) segundo as projeções das modelagens dos cenários do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, conforme a Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A metodologia de investigação consistiu das seguintes etapas: a) coleta e tabulação da série histórica (2000 a 2017) do número de focos de incêndios (Q) no estado do Amapá, para uma série disponível em simultaneidade com os dados de variáveis meteorológicas (Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta-LAF/2000-2017); b) análises estatísticas de ambas as séries para comparar, testar e correlacionar estatisticamente aos focos de incêndios com os elementos meteorológicos das sub-bacias (Amapá e Amazonas-FOZ) em que o estado do Amapá está inserido e c) avaliar se o fator climático (Período Global, El-Niño, e Normalidade) influenciam na ocorrência de focos de queimadas (Q). Os resultados mais relevantes sugerem significativas correlações entre os focos de queimadas em período de normalidade, em que Q correlacionado com a temperatura máxima da sub-bacia Amapá (T_{MaxAP}) é $r = 0,6395$, e Q correlacionado com a temperatura máxima da sub-bacia Amazonas-Foz (T_{MaxFOZ}) é $r = 0,5868$, ou seja, correlação moderada positiva. Em período de ocorrência de El Niño entre Q correlacionado com a precipitação da sub-bacia Amapá ($PrecAP$) é $r = -0,6147$ e Q correlacionado com a precipitação da sub-bacia Amazonas-FOZ ($PrecFOZ$) é $r = -0,6464$, ou seja, correlação moderada negativa, sendo que as demais correlações obtidas foram medianas ou não significativas. Confirma-se que no período climático com ocorrência do El Niño, que o aquecimento ocasionado pelo evento contribui para o déficit pluviométrico do Amapá, sendo considerada como área de vulnerabilidade climática “alta”, com tendências de aumento de temperatura e redução de precipitação que tende a criar um ambiente perfeito para o fomento das queimadas no estado Amapá, principalmente na sub-bacia Amapá.

Palavras-chave: Séries Históricas, Vulnerabilidade Climática, Sub-bacias.

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que o clima na Amazônia tem mudado com a intensificação de eventos climáticos como o El Niño, cada vez mais intensos e associados aos períodos mais secos. As consequências são a redução da umidade do ar (tempo seco) que geralmente apresenta altas correlações com as taxas de mortalidade de árvores e mudanças do ciclo hidrológico em geral (MARENGO e SPINOZA, 2016; DOUGHTY et al., 2015). Estes efeitos no longo prazo são imprevisíveis, principalmente porque têm impactado diretamente o ciclo hidrológico e os sistemas de drenagem, além de populações humanas, a química e a biota dos ecossistemas tropicais em geral (CUNHA et al., 2018).

Há, portanto, evidências dessas mudanças do clima com significativa intensificação do ciclo hidrológico na Amazônia nas duas últimas décadas. Por exemplo, o escoamento mínimo de superfície (runoff) em bacias hidrográficas tem declinado, enquanto que a temperatura média do ar tem também aumentado desde os anos de 1980, com destaque para a estação seca da Amazônia (MARENGO E SPINOZA, 2016). Esses efeitos alteram os processos hidrológicos e as interações terra-água-atmosfera, intensificando também as taxas de evaporação pela redução da umidade relativa do ar. Exemplos contundentes destes recentes efeitos ocorreram durante o último El Niño (o mais forte do século) em lagos da costa estuarina do Estado do Amapá (CUNHA et al., 2018).

Por outro lado, os incêndios são também uma das prováveis causas de impactos e danos às florestas tropicais intensificados pelo tempo mais seco, aumentando a vulnerabilidade dos ecossistemas tropicais. Por exemplo, uma das maiores fontes de danos em ecossistemas florestais é em sua maioria relacionada às mudanças de uso da terra, especialmente para atender às demandas agropecuárias e expansão de terras para esta atividade (BATISTA, 2004). Mas a maioria dos incêndios que tem ocorrido nesta região é devido a influência das atividades humanas em combinação com as condições meteorológicas em transformação, como a ausência de chuvas, altas temperaturas e baixa umidade do ar, as quais tendem a aumentar o potencial de risco de queimadas e incêndios florestais na cobertura florestal (LYRA, 2015).

Define-se o significado da tipologia do fogo para classificar o que é foco de calor, queimada e incêndio. Foco de calor é qualquer temperatura registrada acima de 47°C e não necessariamente um foco de fogo ou incêndio. O fogo tem sido utilizado para várias finalidades práticas. Por exemplo, a forma controlada para viabilizar a agricultura ou renovar as pastagens chama-se queimada. Os incêndios florestais são classificados como fogo sem controle que incida em qualquer forma de vegetação podendo ter origem natural, acidental e criminosa (LYRA, 2015).

Quando se correlaciona elementos meteorológicos com focos de incêndio, as projeções de mudanças climáticas, assim como o uso do solo para a região amazônica, estima-se um aumento da extensão regional e a frequência de degradação do fogo. Tais cenários podem, contudo, auxiliar os gestores ambientais no processo de formulação de políticas e ações que previnam o alcance severo do fogo, evitando-se impactos diretos sobre a vegetação, causando estresse hídrico (MALHI et al, 2009), perecimento da biomassa vegetal (COX et al., 2000, 2004) e aumento da frequência de incêndios florestais (SCHOLZE et al., 2006; GOLDING; BETTS, 2008).

As projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicam, para as próximas décadas, significativas mudanças no meio ambiente global em virtude do aumento da concentração atmosférica de CO₂ e outros gases de efeito estufa (GEE) advindos de atividades antrópicas (IPCC, 2013), incluindo-se os que provocam as queimadas florestais. Como no Quinto Relatório de Avaliação foram desenvolvidos cenários climáticos e socioeconômicos representativos de tendências (RCP), que estima: RCP 8.5 (altas emissões); RCP 6.0 (emissões intermediárias); RCP 4.5 (emissões intermediárias-baixas); e RCP 2.6 (baixas emissões) (BRASIL, 2016; pag. 24). Diante de projeções de modelos globais acoplados e modelos do sistema terrestre, avalia-se que a Amazônia deve experimentar um aumento nas temperaturas que variam de 0.6°C a 2°C no cenário RCP 2.6, e de 3.6°C a 5.2°C no cenário RCP 8.5 (LYRA, 2015).

Há várias discussões científicas sobre qual seria o ponto limite para a irreversibilidade do clima na Amazônia. Ou se haveria a possibilidade de se alcançar um ponto de ruptura quando o desmatamento, o fogo, as anomalias de temperatura da superfície do mar (durante episódios de El Niño) e aquecimento global, inibirem a precipitação em escala regional (NEPSTAD, 2007). Tais questionamentos

apresentam-se como lacunas científicas importantes que tratam da vulnerabilidade das florestas e sua relação com a mudança do clima.

A ocorrência de episódios de secas severas, sendo que as estações secas se tornaram cada vez mais recorrentes e longas, leva a resultados preocupantes se tratando dos incêndios florestais, que ocasiona o estresse hídrico das florestas, redução da umidade e favorece a propagação do fogo tanto em terras ocupadas por florestas como nas ocupadas pela agropecuária (COSTA et al., 2015; COE et al., 2013). Estudos têm apresentado o aumento da flamabilidade do bioma amazônico (NEPSTAD et al., 2001; MALHI et al., 2009; COE et al., 2013). Desse modo, a transformação vem no caminho das mudanças do clima regional até o final do século (NEPSTAD, 2007; COE et al., 2013). Essas vulnerabilidades da Amazônia, no âmbito regional, para as ocorrências de focos de incêndios devem ser cientificamente melhor compreendidas e monitoradas, principalmente para entender o processo de resiliência do sistema ambiental (*feed back* negativo) na mitigação dos potenciais danos causados por impacto das queimadas. A utilidade é considerar as análises como suporte a tomada de decisão na condução das ações de mitigação e adaptação de forma eficiente

Por exemplo, no Amapá em 2012, ocorreu um dos maiores incêndios florestais já registrados, em uma Reserva Biológica (ReBio do Lago Pirituba). No evento foram registrados, cerca de, 54 focos de incêndio, os quais atingiu quase 6 mil hectares desta reserva. A perícia ambiental registrou o incêndio como criminoso. O resultado foi que grande parte da reserva praticamente foi devastada a, causando danos incalculáveis de perda da biodiversidade, alterando a biogeoquímica do sistema hidrogeomorfológicos dos rios de marés daquele local (SANTOS et al., 2018).

A presente investigação tem como objetivo avaliar a evolução temporal da ocorrência do número de focos de incêndios florestais no Amapá, avaliando-se as tendências das variações observacionais dos elementos meteorológicos e as projetadas para as mudanças do clima, com recorte regional para o Estado do Amapá até o ano de 2100, sendo estas projeções estimadas pelos cenários futuros do Quinto Relatório de Avaliação (RCP 4.5 e RCP 8.5) do IPCC. Especificamente, PIRES et al. (2017) sugerem lacunas de conhecimento sobre queimadas no estado do Amapá, justamente em um dos estados brasileiros detentor dos maiores percentuais de áreas protegidas do Brasil.

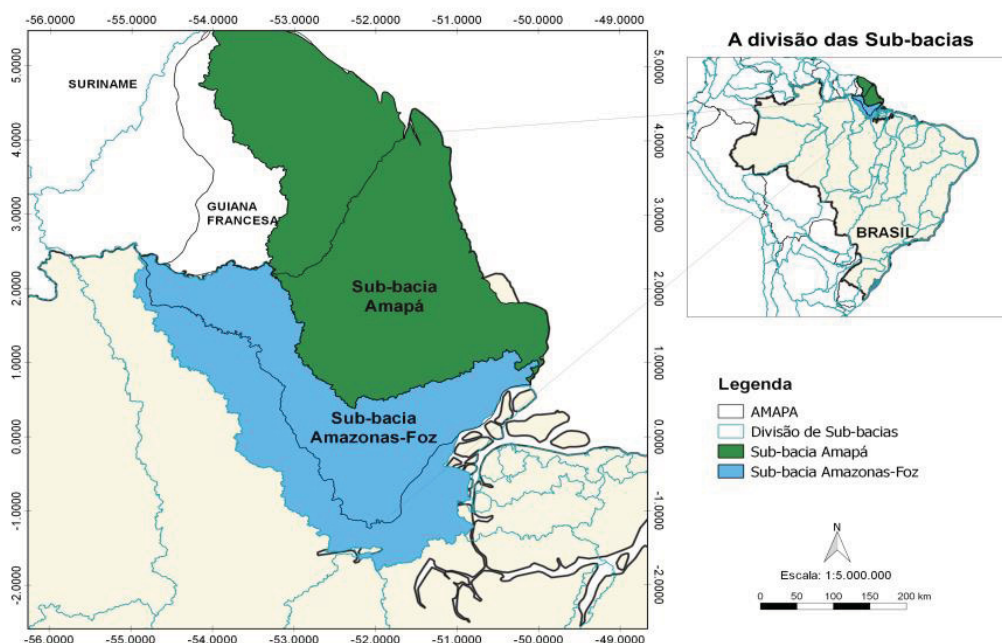
A presente pesquisa tem como hipótese que a ocorrência dos focos de incêndios correlacionada com as variáveis climáticas (temperatura e precipitação), durante o período de 2000 a 2017, possuem elevado grau de correlação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área e Período de Estudo

O Estado do Amapá está localizado no extremo norte do país, possui uma superfície territorial de 140.276km², que corresponde a 1,6% do território brasileiro e a 3,6% da Região Norte, e compõe a Amazônia Oriental. Faz fronteira com o Estado do Pará e os países Suriname e Guiana Francesa. E está situado, conforme a base hidrográfica Otto-codificada de sub-bacias, na codificação de Otto Pfafstetter, agregada pela Agência Nacional de Águas, nas sub-bacias Amapá, ao norte do estado e na sub-bacia Rio Amazonas-Foz, ao sul, como demonstrada na figura 1.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO REGIONAL DO ESTADO DO AMAPÁ EM REFERÊNCIA ÀS SUB-BACIAS NA CODIFICAÇÃO DE OTTO PFAFSTETTER.



Fonte: ANA (2015).

O Estado do Amapá reúne uma das maiores diversidades em ambientes naturais (DIAS et al., 2017), pois faz parte de dois grandes domínios geográficos: o Amazônico e o Oceânico, o que lhe atribui características muito particulares quanto à formação e estruturação de seus ambientes naturais. Localizado exatamente a 0°02'S de latitude e 51°03'W de longitude, com uma altitude média de 18 metros

acima do nível médio do mar. Apresenta temperatura do ar e umidade relativa do, bastante elevados, durante todo o ano (JESUS et al., 2000).

O Estado do Amapá possui de forma global um clima tropical quente e úmido que é caracterizado por um período de seis meses chuvosos e seis meses secos (ou menos chuvosos) com consideráveis variações de precipitação pluviométrica e das taxas de evaporação espaço-sazonais, ambas bem distribuídas em todo o Estado (DE SOUZA e CUNHA, 2010; NEVES et al., 2011; CUNHA et al., 2018).

As nuvens convectivas, brisa marítima e terrestre, aglomerados de nuvens, linhas de instabilidade, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), El Niño/Oscilação Sul são fenômenos atmosféricos atuantes sobre o Estado do Amapá. Dentre estes o principal sistema gerador de chuva para o Estado do Amapá é a Zona de Convergência Inter Tropical ZCIT, que define a qualidade da estação chuvosa sobre o Estado (DE SOUZA et al., 2000). Lopes (2009) acrescenta, ainda, que a ZCIT é um fenômeno meteorológico de escala intra-sazonal que influencia a distribuição de precipitação e em muitos casos, é responsável pela variabilidade no clima regional.

Durante as estações normais há tendência de valores mais baixos da taxa de evapotranspiração na região nordeste do Estado do Amapá (≈ 1200 - 1250 mm), elevando-se na direção sudeste, onde valores mais altos são observados (≈ 1400 - 1600 mm). E se a precipitação média anual estimada permanecer por volta de $\approx 2,230$ - 2900 mm (SCHAEFFER-NOVILLI et al., 1990), então $\approx 50\%$ da precipitação poderia teoricamente ser evapotranspirada nestes ambientes (CUNHA et al., 2018).

Obtenção de Dados das Variáveis climáticas

As séries das variáveis climáticas utilizadas neste estudo foram: precipitação total, temperatura média, temperatura mínima média e a temperatura máxima média. E teve como base de dados o Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta-LAF (INPE, 2018b), que disponibiliza séries temporais derivadas de imagens de sensoriamento remoto pelo sensor MODIS da plataforma AQUA, onde o pixel TRMM tem uma área mínima de aproximadamente de $0,25$ graus (INPE, 2018), e foram totalizados 195 pontos de dados da região que está inserida o estado do Amapá. Contudo, como forma de confirmar a diferença entre os dados foram utilizados dados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e

Pesquisa (BDMEP), que informa dados das várias estações meteorológicas convencionais da rede INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, referente às medições diárias de acordo com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial. Foi utilizada na análise a série histórica mensal do período de 2000 a 2017, coletada da estação meteorológica convencional 82098 com localização em -0.05 (latitude) e -51.11 (longitude), a 14,46 metros de altitude, na Cidade de Macapá.

Dados de Focos de Incêndios

Os dados sobre ocorrência de fogo na vegetação foram obtidos no portal de Monitoramento de Queimadas e Incêndios (INPE, 2018a) desenvolvido no INPE. Esta base de dados inclui informações sobre o monitoramento operacional de focos de queimadas e de incêndios florestais detectados por satélites, e o cálculo e previsão do risco de fogo da vegetação.

Cada foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 1 km x 1 km até 5 km x 4 km (INPE, 2018).

Ocorrência El Niño

Os dados utilizados para determinar a ocorrência e a intensidade do El Niño são da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2018) ou Administração Nacional Oceânica e Atmosférica que determina o Índice Oceânico de Niño (ONI) que monitora a evolução das anomalias de TSM no oceano Pacífico Tropical. A Tabela 1 apresenta os dados da NOAA sobre os anos de ocorrência do fenômeno El Niño classificando por sua intensidade.

TABELA 1 - OCORRÊNCIA E INTENSIDADE DO EL NIÑO

Fraco	Moderado	Forte	Muito Forte
1953-53	1951-52	1957-58	1982-83
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98
1958-59	168-69	1972-73	2015-16
1969-70	1986-87	1987-88	
1976-77	1994-95	1991-92	
1976-77	1994-95	1991-92	
1977-78	2002-03		
1979-80	2009-10		
2004-05			
2006-07			
2014-15			

Fonte: *National Oceanic and Atmospheric Administration* NOAA (2018).
Disponível: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>.

Cenários Futuros do Quinto Relatório de Avaliação-AR5

Em 1988 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e a Organização Meteorológica Mundial (WMO) criaram o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC), como principal organismo internacional para a avaliação de forma abrangente das alterações do clima, que tem o objetivo de apresentar ao mundo por meio de uma visão científica clara avaliações sobre as mudanças climáticas induzidas pelo homem e seu impacto no mundo através de relatórios divulgados outras publicações (IPCC, 2014).

No Quinto Relatório de Avaliação (AR5) foram desenvolvidos cenários climáticos e socioeconômicos representativos de tendências, os Caminhos de Representativos de Concentração (RCP), considerando: RCP 8.5 (altas emissões); RCP 6.0 (emissões intermediárias); RCP 4.5 (emissões intermediárias-baixas); e RCP 2.6 (baixas emissões) (BRASIL, 2016; pag. 24). A Tabela 2 apresenta os RCPs com a variação de temperatura média global e o intervalo provável de variação da temperatura para cada cenário no horizonte de 2100.

TABELA 2: ALTERAÇÃO PROJETADA NA TEMPERATURA MÉDIA GLOBAL PARA O FINAL DO SÉCULO XXI RELATIVOS AO PERÍODO DE REFERÊNCIA DE 1986 – 2005

Cenários	Aumento médio da Temperatura Global	Intervalo Provável Aumento da Temperatura Global	Ano
RCP 2.6	1,0°	0,3° a 1,7°	2100
RCP 4.5	1,8°	1,1° a 2,6°	2100
RCP 6.0	2,2°	1,4° a 3,1°	2100
RCP 8.5	3,7°	2,6° a 4,8°	2100

Fonte: IPCC, 2013

Para análise de resultados relevantes foi utilizado dados de um futuro não próximo, pois impactos mais severos projetados aconteceriam apenas em um cenário de longo prazo (2100) em que as emissões de GEE não tenham sido mitigadas, em especial no caso de um aumento significativo da população e do crescimento econômico mundial com o uso intensivo de combustíveis fósseis. (BRASIL, 2016; pag. 24). Foram utilizados os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, visto que terão como base a avaliação que o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) dos diferentes cenários climáticos propostos pelos modelos globais do AR5 do IPCC e com aplicação do método de *downscaling* dinâmico para o Brasil (BRASIL, 2016; pag. 25).

Análise dos dados

Dos dados das variáveis meteorológicas (precipitação pluviométrica e temperatura) foram obtidas de médias multianuais mensais com o estudo de série históricas.

Para testar a existência de correlações entre as variáveis observadas e as dados de projeção de cenários, foram utilizadas uma série de análises estatísticas para atender às premissas (normalidade, homogeneidade das variâncias, outliers, etc.) (R-CORE TEAM, 2016). As variáveis que apresentaram correlações foram selecionadas para avaliar sua explicabilidade e significância em relação às variáveis dependentes dos cenários IPCC versus variáveis CPTEC/INPE.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variáveis climatológicas e focos de incêndios

As variáveis climáticas tem seu papel importante para a ocorrência de focos de queimadas, como a temperatura e a umidade relativa do ar que possuem importância como variável condicionante da ocorrência de incêndios florestais, principalmente na ausência de precipitação que provoca secura e aumento da inflamabilidade, e sua ocorrência interfere no teor da umidade da vegetação (LOURENÇO e BERNARDINO, 2003).

A Tabela 3 apresenta os dados das variáveis climatológicas (precipitação, temperatura média, temperatura mínima e temperatura máxima) por sub-bacia, os focos de incêndios e ocorrência e intensidade do El Niño no estado do Amapá no período de 2000 a 2017.

TABELA 3 – DADOS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, FOCOS DE INCÊNDIOS E A OCORRÊNCIA E INTENSIDADE DO EL NIÑO NO PERÍODO DE 2000 A 2017 PARA O AMAPÁ.

Continua

Ano	Temperatura Amapá			Temperatura Foz Amazonas			Precipitação		Queimadas	Ocorrência e Intensidade do El Niño
	Tmin AP	Tmax AP	Temp média	Tmin FOZ	Tmax FOZ	Tmédia FOZ	Amapá	Foz Amazonas		
2000	20,60	24,26	22,43	21,02	24,30	22,66	254,67	220,0	253	Normal
2001	20,75	24,21	22,48	21,13	24,30	22,72	202,81	168,8	1301	Normal
2002	20,82	24,21	22,52	21,15	25,13	23,14	226,95	182,9	1957	Moderado
2003	20,42	25,89	23,15	20,69	25,98	23,34	185,45	166,2	1652	Moderado
2004	20,52	26,29	23,40	21,13	26,52	23,82	201,49	195,3	2261	Fraco
2005	20,91	26,05	23,48	21,45	26,32	23,88	229,52	212,6	1271	Fraco
2006	20,52	25,81	23,17	20,91	25,98	23,45	228,85	196,5	817	Fraco
2007	20,68	26,05	23,37	21,09	26,01	23,55	225,46	196,7	440	Fraco
2008	20,50	25,65	23,07	21,20	25,85	23,52	211,82	196,0	785	Normal

TABELA 3 – MÉDIAS ANUAIS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, FOCOS DE INCÊNDIOS E A OCORRÊNCIA E INTENSIDADE DO EL NIÑO NO PERÍODO DE 2000 A 2017 PARA O AMAPÁ.

Ano	Temperatura Amapá			Temperatura Foz Amazonas			Precipitação		Queimadas	Ocorrência e Intensidade do El Niño
	Tmin AP	Tmax AP	Tmédia	Tmin FOZ	Tmax FOZ	Tmédia FOZ	Amapá	Foz Amazonas		
2009	20,52	26,36	23,44	21,23	26,41	23,82	213,01	191,8	2127	Moderado
2010	21,08	26,23	23,66	21,80	26,34	24,07	229,33	199,1	721	Moderado
2011	20,88	26,06	23,47	21,21	26,17	23,69	236,27	194,4	1100	Normal
2012	20,78	26,46	23,62	21,12	26,41	23,77	206,63	178,2	2103	Normal
2013	20,66	26,46	23,56	21,20	26,82	24,01	225,07	197,2	975	Normal
2014	20,58	26,09	23,34	21,28	26,11	23,69	195,28	180,6	1491	Fraco
2015	21,22	27,67	24,44	21,81	27,94	24,88	207,71	165,9	2653	Muito forte
2016	21,14	26,72	23,93	21,58	26,78	24,18	138,57	132,7	2645	Muito forte
2017	20,54	27,12	23,83	21,01	27,28	24,15	343,39	261,3	1983	Normal
Média	20,73	25,98	23,35	21,22	26,15	23,69	220,13	190,89	1474	Global
Média	20,67	25,75	23,21	21,13	25,88	23,50	240,10	202,26	1214	Normal
Média	20,76	26,13	23,44	21,28	26,32	23,80	207,42	183,66	1640	El Niño

FONTE: Autor (2018)

Os dados analisados na Tabela 3 referente à sub-bacia Rio Amazonas-Foz, foram comparados com os dados coletados pela estação meteorológica convencional 82098, localizada também na sub-bacia do Rio Amazonas-Foz. Os dados do LAF apresentam subestimação de temperatura mínima em 13%, temperatura máxima em 23%, temperatura média em 19% e precipitação em 11%. Marengo (2001) Molion e Dallarosa (1993) observam que a precipitação fluvial na região amazônica está sujeita a erro devido sua localização estar em margem dos rios e ilhas e os totais pluviométricos são menores a 25-30 km e decrescendo conforme aumenta a distância. Podendo estar subestimado em até 30%. Mas, pelo o número de amostras do LAF ser ampla e mais abrangente para a área, será utilizada esta base de dados para a análise desse estudo.

Os anos de 2015 e 2016, expressos na Tabela 3, apresentam os números mais altos de focos de queimadas (2653 e 2645 respectivamente) e em combinação as temperaturas máximas de ambas as sub-bacias também são as maiores do período. Os valores médios de precipitação para os anos de 2015 e 2016 são baixos, principalmente para a sub-bacia Rio Amazonas-Foz (165,9 e 132,7 respectivamente). E nesse período foi registrada a ocorrência do El Niño em intensidade muito forte.

A análise das médias para o período de ocorrência ou não do El Niño confirmam um aumento de 35% do número de focos de incêndios para o período de

ocorrência do El Niño em comparação com o período de não ocorrência, denominado de normal. Assim como, o aumento da temperatura é mais significativo na temperatura máxima e na redução de precipitação para ambas as sub-bacias.

No entanto, em 2012 os números de focos de queimadas foram expressivos (2103) para o estado do Amapá e neste ano não houve ocorrência do El Niño, temperatura máxima e precipitação dentro da média, sendo as variáveis climáticas um dos fatores que fomentam a ocorrência de incêndios. Lourenço e Bernardino (2003) relatam que os incêndios florestais são em sua maioria de ação humana e as condições meteorológicas é que determinam a facilidade de ignição, bem como de progressão.

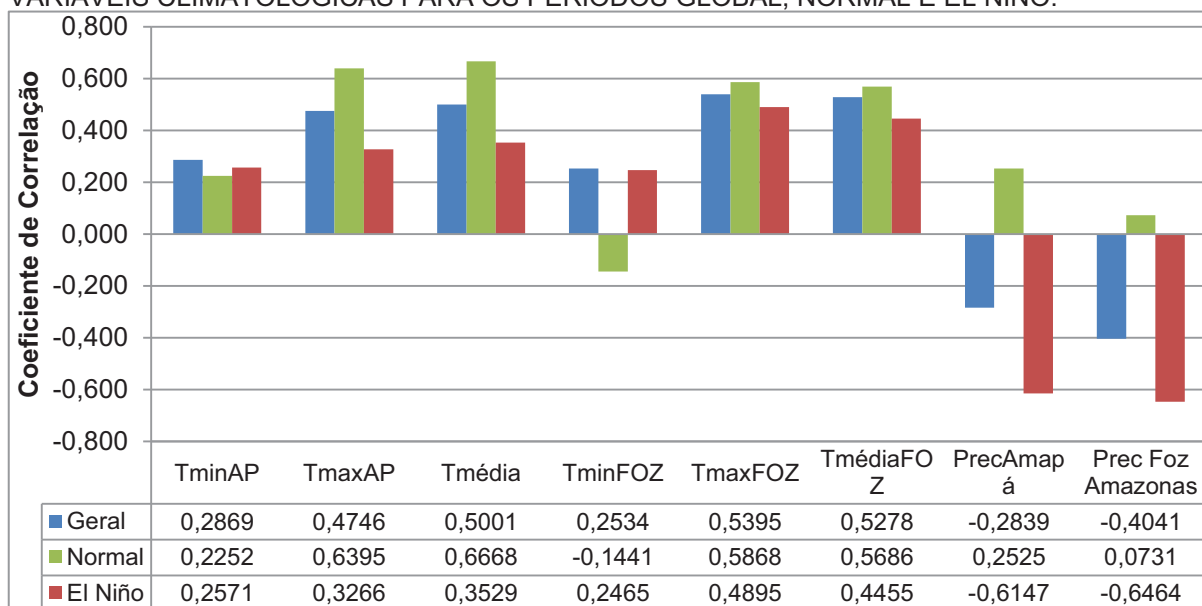
A Tabela 3 relata que os valores de temperatura (máxima, mínima e média) são diferentes para as duas sub-bacias. Onde, a temperatura é mais baixa com precipitação elevada na sub-bacia Amapá em comparação com a sub-bacia do Rio Amazonas-Foz. Marengo (2001) narra que o aquecimento pode variar por região, sendo seguido por alterações na precipitação, mudança na variabilidade do clima e na frequência e intensidade dos eventos extremos climáticos.

As variáveis climáticas contribuem para a ocorrência de incêndios como fator de ignição do fogo. E o estado do Amapá, devido sua localização, sobre a linha do equador, recebe o máximo de insolação o que eleva a temperatura da superfície (KUNT et al., 2010), facilitando, conforme as variações climáticas aqui apontadas, vulnerabilidades locais para a ocorrência de incêndios florestais.

Correlação entre as variáveis climáticas e Focos de Incêndios

Os dados de queimadas e das variáveis climáticas foram utilizados para realizar o cálculo de correlações que avalia o Coeficiente de Correlação e estuda o grau de relação entre duas variáveis. A Figura 2 apresenta as correlações entre os focos de incêndios e as variáveis climáticas precipitação e temperatura (mínima, média e máxima).

FIGURA 2 – CORRELAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DOS FOCOS DE INCÊNDIOS COM AS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS PARA OS PERÍODOS GLOBAL, NORMAL E EL NIÑO.



FONTE: Autor (2018)

Na figura 2 os coeficientes de correlação para o período “normal” são mais elevados em comparação ao período de ocorrência do El Niño, e em sua maioria são positivas, com a exceção da temperatura mínima da sub-bacia Rio Amazonas-Foz, que é negativa, mas é muito fraca ($r < 0,200$). Com correlação moderada nas temperaturas máximas de ambas as sub-bacias.

Na observação das correlações as mais fortes, dentre as apresentadas na Figura 2, está à temperatura média da sub-bacia Amapá que possui correlação positiva (direta) moderada de 0,6668 (coeficiente de correlação $0,400 \leq r < 0,699$) em relação à ocorrência de focos de queimadas. Significa que quando aumenta a temperatura média aumenta a ocorrência de focos de incêndios na sub-bacia Amapá. De forma geral isso ocorre com as temperaturas médias e máximas de ambas as bacias no período “normal” e “global”. Propondo, assim, que a temperatura tem relação moderada com a ocorrência de queimadas.

No período de ocorrência de El Niño a precipitação possui correlação negativa (inversa) e moderada (coeficiente de correlação $-0,400 \leq r < -0,699$) que expressa que em período de ocorrência de El Niño, quando diminui o nível de precipitação, aumento o número de incêndios, relacionando o impacto do El Niño na redução da precipitação. Composto, esses eventos (El Niño), a maioria da amostra temporal no período escolhido para análise do estudo. Sendo, a intensidades e a frequência dos eventos de El Niño maiores desde a metade da década de 70 e mais intensos que os eventos frios de La Niña (MARENGO, 2001).

Assim, as variáveis climáticas possuem relação com a ocorrência dos incêndios florestais, a temperatura com o aquecimento e a precipitação em período baixa pluviosidade. Demonstrando o papel das variáveis no processo de ignição e progressão do fogo determinando a umidade da vegetação como combustível dos incêndios florestais (LOURENÇO e BERNARDINO, 2003).

Cenários climáticos futuros para o estado do Amapá

Os cenários apresentados por Brasil (2016, p.189-242) para as projeções de alterações de precipitação pluviométrica, no período de 2071 a 2099, na região em que o estado do Amapá está localizado, apresenta, no cenário intermediário (RCP 4.5), uma queda de aproximadamente 20% para a sub-bacia Amapá, e uma queda de aproximadamente de 10% para a sub-bacia Rio Amazonas-Foz. O cenário de extremo climatológico (RCP 8.5) apresenta queda em torno de -30% para a sub-bacia Amapá, e uma queda de precipitação em torno de -20% para a sub-bacia Rio Amazonas-Foz, em HadGEM. Em MIROC RCP 8.5 ambas as regiões terão uma queda de precipitação de quase 20%, como está exposto na figura 7.

FIGURA 7 - ANOMALIA DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO PARA OS CENÁRIOS RCP 4.5 E 8.5 PARA O PERÍODO DE 2071 A 2099

Cenários	Temperatura		Precipitação	
	Amapá	Foz Amazonas	Amapá	Foz Amazonas
HadGEM2-ES RCP 4.5	3,25	3,35	≅ (-20%)	≅ (-10%)
HadGEM2-ES RCP 4.6	5,66	6,08	≅ (-30%)	≅ (-20%)
MIROC5 RCP 8.5	3,57	3,79	<(-20%)	≅ (-20%)

Fonte: Brasil (2016, p.203-204).

A Figura 7 também demonstra as alterações sobre a temperatura em Brasil (2016) para a região hidrográfica do Amapá e Rio Amazonas-Foz: no cenário HadGEM2-ES RCP 4.5 é de 3,25°C e 3,35°C; HadGEM2-ES RCP 8.5 é de 5,66°C e 6,08°C; e MIROC5 RCP 8.5 é de 3,57°C e 3,79°C, para o período de 2071 a 2099. Esses valores já eram previstos nos cenários climáticos futuros por Marengo (2001) que fala sobre os valores mais elevados serão encontrados na Amazônia e com menor taxa de precipitação deixando mais seca (MARENGO, 2001).

O cenário de aquecimento da Amazônia com elevadas taxas de temperatura e a diminuição da precipitação implicam num aumento da respiração das plantas e o fechamento dos estômatos e consequentemente o declínio da floresta (MARENGO, 2001). Além, do aumento do risco dos impactos da alteração de vegetação por mudança do uso da terra e o desmatamento da floresta e cerrado (NOBRE et al., 2007). Com a propensão do aumento dos incêndios florestais através da diminuição

de água disponível e causando grande impacto na agricultura e nos recursos hídricos (SALAZAR et al., 2006). Seguindo o comportamento de um El Niño intenso, como o verão 1997-1998 (MARENGO, 2001).

Na Amazônia não existe um alto grau de previsibilidade (MARENGO, 2001). E ainda, o evento do El Niño não é sempre representado de forma satisfatória pelos modelos climáticos o que é difícil prever seus efeitos no aquecimento global, e de qualquer forma poderá ter um forte impacto no clima do Brasil (MARENGO, 2001).

O desmatamento em grande escala na Amazônia pode alterar o clima regional de forma significativa (NOBRE et al., 1991). A fragmentação florestal, o desmatamento e a utilização de fogo na prática agrícola, vêm causando o aumento dos incêndios florestais a cada ano (NOBRE et al., 2007). E dessa forma, ocorrendo estiagem mais frequente principalmente no ápice do período chuvoso reduzirá a confiabilidade de ocorrência do alagamento sazonal da floresta de regiões de florestas inundadas (MARENGO, 2001).

Nepstad (2007) relata sobre os mapas de risco que se basearam nas projeções climáticas e apontaram longas estiagens, aumento de temperaturas médias e redução na precipitação cumulativa, o que pode ocasionar um problema de abastecimento de água, devido a menor captação nas principais bacias da cidade e a incêndios nas zonas rurais. E indica que os resultados das projeções dos modelos climáticos são extremamente relevantes para implementação de ações proativas de redução das vulnerabilidades sociais e ambientais e a implementação de planos de adaptação de nível local (NEPSTAD, 2007).

5 CONCLUSÕES

Os dados das variáveis climatológicas apresentados demonstraram que a sub-bacia Amapá, onde está localizada a maior parte das Unidades de Conservação do estado do Amapá, possui o menor índice de urbanização, que combina com temperaturas mais baixa e precipitação elevada em comparação com da sub-bacia Rio Amazonas-Foz, que contem os municípios do estado do Amapá com maior índice de urbanização e de alteração do uso da terra, e em contrapartida a temperatura é mais elevada e com menor índice pluviométrico. Combinando com premissa de alteração do microclima com essas características.

Dentre as variáveis climatológicas relacionadas com os focos de incêndios as que apresentam forte indicação de fomentar a ocorrência de queimadas são a temperatura máxima e a precipitação. Mas seu papel é de determinação de ignição e difusão. Visto a ação antrópica ser a condição mais comum para a ocorrência de focos de incêndios, pelos seguintes motivos: desmatamento, mudança do uso da terra, utilização do fogo para agricultura.

A ocorrência do El Niño é uma importante condicionante para a análise de ocorrência de queimadas, pois este interfere no índice pluviométrico alterando a quantidade de chuvas determinando a umidade e a inflamabilidade da floresta.

Assim, a vulnerabilidade climática para a ocorrência dos incêndios florestais nos cenários, intermediário e extremo, do AR5 do IPCC é considerada alta devido à localização no meio do mundo recebendo maior incidência dos raios solares e as tendências de aumento de temperatura e redução de precipitação que tende a criar um ambiente perfeito para o fomento das queimadas no estado Amapá, principalmente na sub-bacia Amapá.

REFERÊNCIAS

AMAPÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amapá/Coordenação de Geoprocessamento Tecnologia de Informação Ambiental. **Áreas Protegidas do Amapá**. Macapá, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Base Hidrográfica Ottocodificada-BHO multiescala** 2013 Versão 1.3 de 22/07/2014. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/>>. Acesso em: 31/05/2018.

BATISTA, A. C. **Deteção de Incêndios Florestais por satélite**. Revista Florestal, V. 34, n 2, p. 237-241, 2004.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Modelagem Climática e vulnerabilidades Setoriais a Mudança do clima no Brasil** / Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.

COSTA, S. L. L. **Correlações De Longo Alcance em Séries Temporais de Focos de Calor nos Biomas Brasileiros**. 2014. 42 f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2014.

COSTA, C. D. F. da, PARRY, L. T. W., BARLOW, B. J., e VIEIRA, I. C. G. Vulnerabilidade ao fogo de florestas intactas e degradadas na região de Santarém,

Pará. In: _____. **Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais**. Belém: Universidade Federal do Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. Cap 8. pg. 169-194.

COX P. M.; BETTS R. A.; COLLINS, M.; HARRIS, P. P.; HUNTINGFORD, C.; JONES C. D. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 137–156, 2004.

COX, P. M.; BETTS, R. A.; JONES, C. D.; SPALL, S. A.; TOTTERDELL, I. J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**, v. 408, n. 6809, p. 184–187, 2000.

COX, P. M.; BETTS, R. A.; JONES, C. D.; SPALL, S. A.; TOTTERDELL, I. J. Modelling vegetation and the carbon cycle as interactive elements of the climate system. **International Geophysics**, v.83 p. 259–279, 2002. doi:10.1016/S0074-6142(02)80172-3.

CUNHA, A. C.; STERNBERG, L. S. L. Using stable isotopes ^{18}O and ^2H of lake water and biogeochemical analysis to identify factors affecting water quality in four estuarine Amazonian shallow lakes. **Hydrological Processes**, v. 32, p. 1188-1201, 2018. doi.org/10.1002/hyp.11462.

DIAS, T. C. A. C.; CUNHA, A. C.; SILVA, J. M. C. Return on investment of the ecological infrastructure in a new forest frontier in Brazilian Amazonia. **Biological Conservation**, v. 194, p. 184-193, 2016. doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.016.

DOS SANTOS, ELDO SILVA ; LOPES, P. P. P.; NASCIMENTO, O. O.; PEREIRA, H. H. S.; COLLIN, R.; STERNBERG, L. S. L.; CUNHA, A. C. The impact of channel capture on estuarine hydro-morphodynamics and water quality in the Amazon delta. **Science of the Total Environment**, v. 624, p. 887-899, 2018. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.211.

DOUGHTY, C. E.; METCALFE, D. B.; GIRARDIN, C. A. J. et al. (2015). Drought impact on forest carbon dynamics and fluxes in Amazonia. **Nature Letter**: 519, 78–82 (05 March) doi:10.1038/nature14213.

FUSS, S. *et al.* Betting on negative emissions. **Nature Climate Change**, Londres, v. 4, n. 10, p. 850-853, 2014. Disponível em: <<https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2484053/Betting+on+negative+emissions.pdf?sequence=1>> 01/06/2018.

GOLDING, N.; BETTS R. Fire risk in Amazonia due to climate change in the HadCM3 climate model: Potential interactions with deforestation. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 22, GB4007, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias>>. 05/05/2018.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. Alterações Climáticas 2013: **A Base Científica**: Perguntas Frequentes. Parte da Contribuição do Grupo de

Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. Lisboa. 2013.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis – Working Group I** Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Brussels: 2013.

INPE, **Instituto Nacionais de Pesquisas Espaciais**, 2018a. Portal do Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso: 16 abr. 2018.

INPE, **Instituto Nacionais de Pesquisas Espaciais**, 2018b. Portal de Monitoramento de queimadas e Incêndios. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/>>. Acesso: 10 mai. 2018.

JESUS, E.S., GONÇALVES, P.H.L, OLIVEIRA, M.C.F. **A Variabilidade Dos Elementos Meteorológicos Associados Ao Fenômeno El Niño Na Cidade De Macapá-Ap**. X Congresso Brasileiro De Meteorologia. *Anais De Congresso*. Rio De Janeiro, 2000.

KUHN, P.; CUNHA, A. C.; PEREIRA, M. J.; SARAIVA, J. M. B. **Previsão Numérica Operacional no Estado do Amapá utilizando o BRAMS**. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B. de; CUNHA, H. F. A. (Eds.). Tempo, Clima e Recursos Hídricos - Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. 1ª. ed. Macapá: IEPA, p. 61-82, 2010.

LOURENÇO, Luciano e BERNARDINO, Sofia. **Condições meteorológicas e ocorrência de incêndios florestais em Portugal Continental (1971-2010)**. Cadernos de Geografia nº 32, pag. 105-132. Coimbra, 2013.

LYRA, A. A. **Estudo de vulnerabilidade do bioma Amazônia aos cenários de mudanças climáticas**. 2015. 128 p. Dissertação (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3K3ATEL>>. 01/09/2017.

MALHI, Y., ARAGAO, L. E. O. C., GALBRAITH, D., HUNTINGFORD, C., FISHER, R., ZELAZOWSKI, P., ... MEIR, P. **Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS, v. 106, n. 49, p. 20610-20615, 2009.

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, p. 1-18, 2001.

MARENGO, J.A.; ESPINOZA, J.C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 1033-1050. 2016.

MELO, L. C. **Simulação da distribuição de espécies da floresta ombrófila mista em função de possíveis cenários climáticos**. 2015. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

NEPSTAD, D., CARVALHO, G. BARROS, C. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, n. 154, p.396-407. 2001.

NEPSTAD, D. C. **The Amazon's vicious cycles drought and fire in the greenhouse: ecological and climatic tipping points of the world's largest tropical rainforest, and practical preventive measures**. Falmouth, MA: Woods Hole Research Center, 2007.

NEVES, D. G. **Influência da vegetação na precipitação pluviométrica Sazonal do Estado do Amapá: um estudo de variabilidade climática**. 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá. 2012.

NOAA. **National Oceanic and Atmospheric Administration**. 2018. Us Department of Commerce. Available <<http://ggweather.com/enso/oni.htm>> Access: 16 abr. 2018.

NOBRE, C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, 2007. pp. 22-27.

SALAZAR, L. F., NOBRE, C. A., OYAMA, M. D. 2006. **Consequências das mudanças climáticas nos biomas da América do Sul**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis. Anais. [S.l]: Sociedade Brasileira de Meteorologia. Available: <<https://www.researchgate.net/publication/267698107>>. Access: 23 mar. 2018.

SCHOLZE, M.; KNORR, W.; ARNELL, N. W.; PRENTICE, I. C. A climate change risk analysis for world ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, p. 13116– 13120, 2006.

SILVA JÚNIOR, Dinaldo Barbosa da. **Modelagem computacional de incêndios e queimadas: um estudo de caso sobre a Reserva Biológica do Lago Piratuba-AP**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2007.

SOUZA, E. B. E.; CUNHA, A. C. **Climatologia de Precipitação no Amapá e Mecanismos Climáticos de Grande Escala**. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B. E.; CUNHA, H. F. A (Org.). Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. Macapá, IEPA, 2010, 216p.